

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.9.048.4

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.22-29](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.22-29)

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук, **О. Ф. Сіса**, доц., канд. техн. наук, **В. Я. Мірзак**, доц., канд. техн. наук, **Р. В. Телюта**, доц., канд. техн. наук, **В. В. Пукалов**, доц., канд. техн. наук

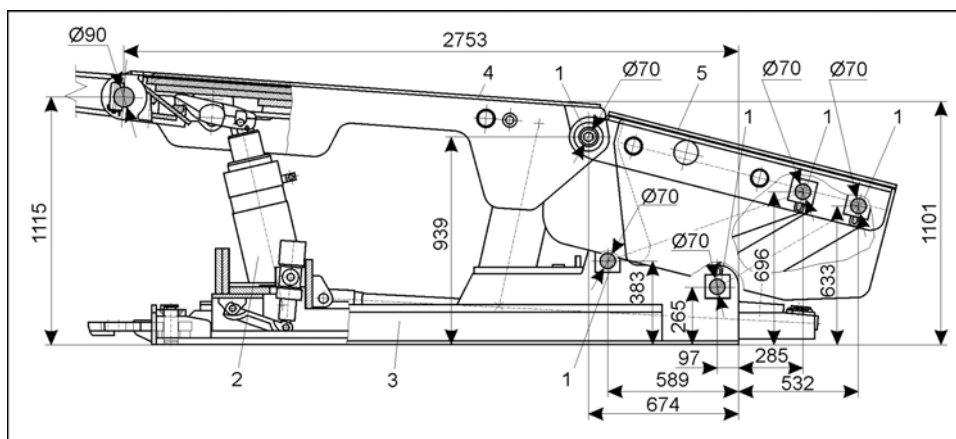
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: mirzak.moodle@gmail.com*

Удосконалення технології розбирання металокопункцій механізованого шахтного кріплення

Запропоновано технологію для розбирання металокопункцій шахтного кріплення, що дозволяє замінити фізично важку та небезпечну працю оператора на більш легкий, механізований процес з використанням потужного гідравлічного біпреса.

механізоване шахтне кріплення, моделювання, демонтаж осей, гідравлічний біпрес, кінематична схема, інструмент

Постановка проблеми. Механізоване шахтне кріплення є одним із необхідних компонентів гірничо-шахтного обладнання. Основні функції, що виконуються механізованим шахтним кріпленням зводяться до забезпечення керування гірським тиском, активній підтримці покрівлі в робочому привибійному просторі очисного вибою, захисту привибійного простору від проникнення обвалених порід покрівлі тощо. Сучасні механізовані секції шахтного кріплення являють собою достатньо металомісткі, складні і дорогі механізми [1–4], що здатні підтримувати тимчасовий нормальний стан покрівлі за очисним вибоєм і тим самим забезпечувати відповідні умови праці (рис. 1).



1 – пальці, що підлягають випресовуванню; 2 – гідравлічний циліндр; 3 – основа; 4, 5 – рухома покрівля

Рисунок 1 – Типова конструкція механізованого шахтного кріплення у складеному стані
Джерело: креслення ТОВ «СІМЗ»

© В.М. Боков, О.Ф. Сіса, В.Я. Мірзак, Р.В. Телюта, В.В. Пукалов, 2023

В процесі експлуатації шарнірні з'єднання шахтного кріплення практично перестають обертатися. Це пов'язано з тим, що внаслідок дії агресивної шахтної води та сильної запиленості, діаметральний зазор 1 – 2 мм між віссю та втулкою щільно заповнюється окислами та вугільним пилом, особливо у з'єднаннях основи [5]. Дана обставина приводить до того, що осі у шарнірах втрачають рухомість та потребують значного зусилля для їх демонтажу.

Для ремонту механізованого шахтного кріплення необхідне розбирання шарнірних з'єднань, які утворені осями (пальцями) та отворами у важелях (траверсах), вушках основи та перекриттях.

В теперішній час розбирання шарнірних з'єднань шахтного кріплення здійснюється з використанням ручного ударного інструменту. Ця операція достатньо трудомістка та фізично важка. За даними ТОВ «СІМЗ», більше 50 % вибитих осей повторно використовуються. Більш того, у ряді випадків не є можливим демонтувати усі осі в шарнірних з'єднаннях через необхідність створення великого зусилля при демонтажу. Тоді місце з'єднання ретельно прогривають автогенною горілкою. Але іноді і це не допомагає. В останньому випадку приймають радикальне та витратне рішення: автогеном відрізають місце з'єднання, виготовляють нове та закріплюють його методом зварювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [6,7] звертається увага на можливість підвищити термін експлуатації різних деталей за рахунок нанесення різного роду захисних покриттів, зокрема іонно-плазмового напилювання робочих поверхонь, а в роботі [8] – дисперсними керамічними покриттями та полімерними антикорозійними покриттями. За даними ТОВ «СІМЗ», що спеціалізується на ремонті шахтного кріплення, такі покриття лише незначно подовжують термін експлуатації шарнірних з'єднань, але проблема їх розбирання залишається.

Із викладеного вище, в роботі пропонується:

– виконати дослідження щодо моделювання деформації елементів шахтного кріплення під навантаженням із застосуванням розрахункового модуля SOLIDWORKS Simulation для визначення максимально допустимого зусилля демонтажу осей;

– розробити концепцію оригінального спеціалізованого гідравлічного біпреса для демонтажу осей, що дозволить замінити трудомістку та фізично важку працю оператора на легку, механізовану. Такий біпрес не був об'єктом дослідження.

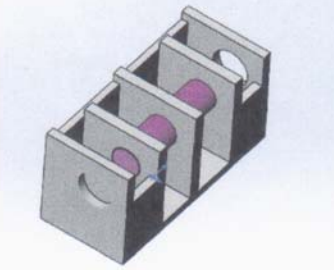
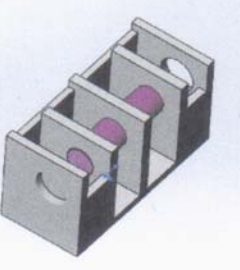
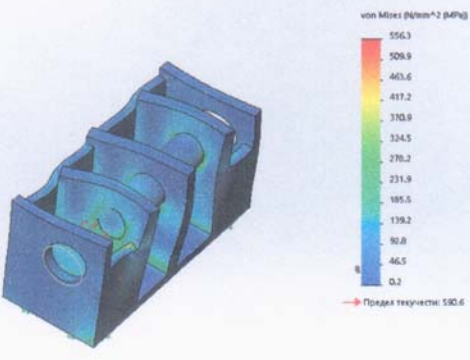
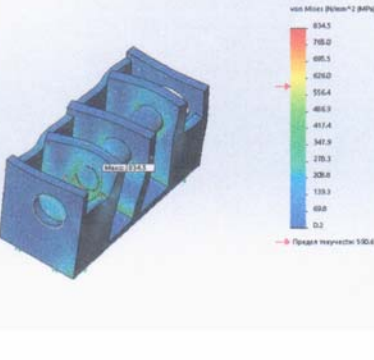
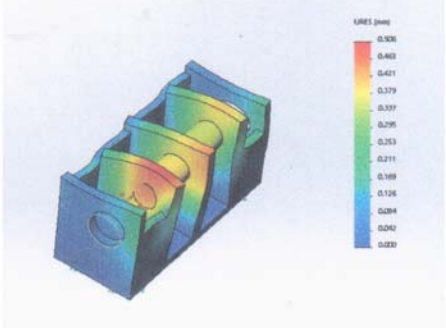
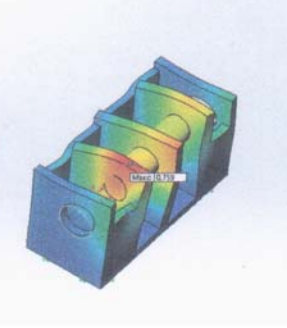
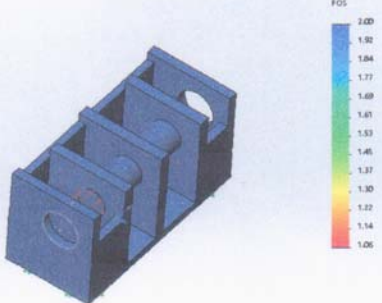
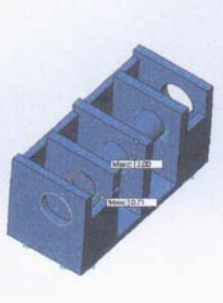
Постановка задачі. Метою дослідження є покращення умов праці оператора при реалізації процесу демонтажу осей у шарнірних з'єднаннях шахтних кріплень за рахунок застосування механізованого спеціалізованого гідравлічного біпреса.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: визначити максимально допустиме зусилля демонтажу осей з урахуванням міцності елементів конструкції, що несе; розробити концепцію механізованого гідравлічного біпреса, що включає склад установки, загальний технічний опис, принцип дії, кінематичну схему, інструмент.

Методика дослідження. Для моделювання деформації елементів шахтного кріплення під навантаженням використовувався розрахунковий модуль SOLIDWORKS Simulation [9, 10]. Спочатку створювалася реальна модель фрагмента шахтного кріплення. Матеріал: сталь з межею текучості 590 МПа. Потім модель послідовно навантажувалася зростаючим зусиллям. При цьому слідкували за зміною трьох параметрів: напруженням за Мізесом, переміщенням елементів конструкції та за коефіцієнтом запасу міцності. Це дозволило визначити максимальне зусилля демонтажу осей, при якому дані параметри відповідали допустимим значенням.

Виклад основного матеріалу. Результати моделювання деформації елементів шахтного кріплення під навантаженням зведено в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати моделювання напружено-деформованого стану фрагмента шахтного кріплення при демонтажу осі

Параметри	Зусилля 1000 кН	Зусилля 1500 кН
Модель фрагменту		
Напруження за Мізесом		
Переміщення		
Коефіцієнт запасу міцності		

Джерело: розроблено автором

Як бачимо, при навантаженні фрагмента шахтного кріплення в діапазоні від 1000 кН до 1500 кН спостерігається зростання переміщення з 0,506 мм до 0,759 мм та

зменшення коефіцієнта запасу міцності від 1,06 до 0,71. Таким чином, навантаження шахтного кріплення зусиллям більшим 1000 кН приводить до втрати запасу міцності конструкції, що неприпустимо.

Для вирішення проблеми ефективного розбирання шарнірних з'єднань шахтного кріплення пропонується оригінальний гідравлічний біпрес «Кит-100» горизонтальної компоновки з двома незалежними робочими органами із зустрічним напрямком передавання зусилля (рис. 2). Номінальне зусилля одного робочого органу дорівнює 1000 кН. Один із робочих органів впирається в шахтне кріплення, а другий робочий орган з протилежного боку в той же момент здійснює демонтаж осі.

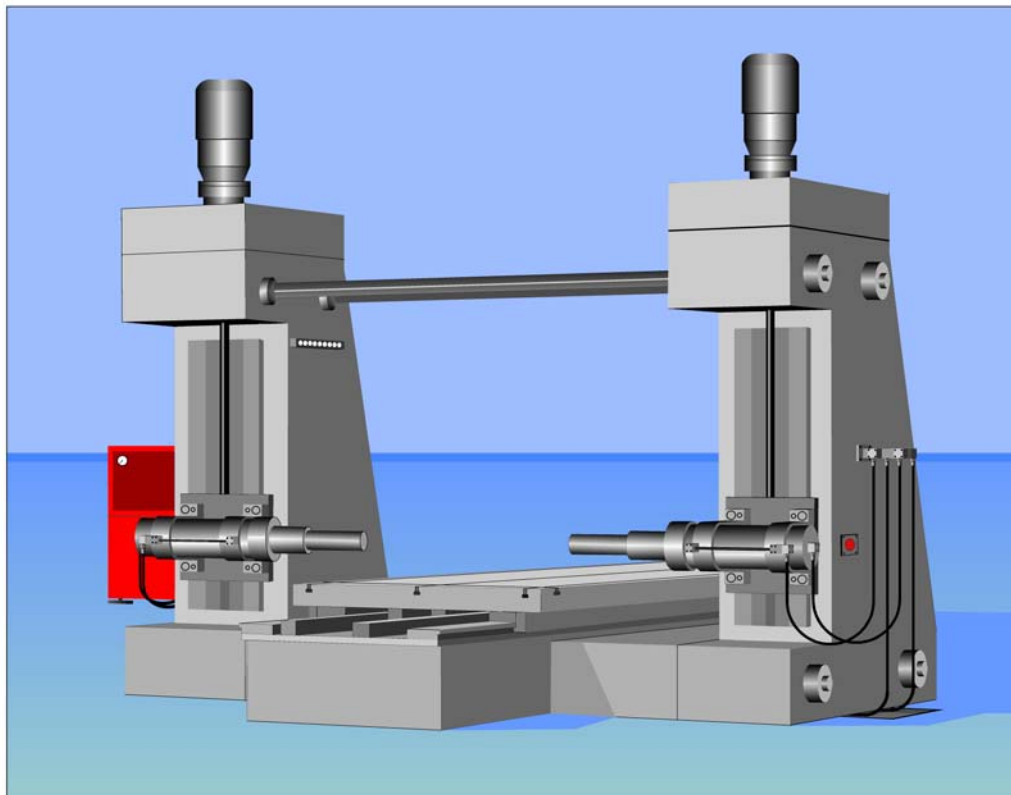


Рисунок 2 – Загальний вид гідравлічного біпреса «Кит-100»

Джерело: розроблено авторами

Гідравлічний біпрес «Кит-100» (рис. 3) включає в себе:

- рухомий стіл 1 (1600 × 3000 мм), на якому розміщується шахтне кріплення. Стіл забезпечує переміщення кріплення по осі Y (хід 1500 мм);
- станину, що складається із рами 2, корпусів 3, 4 та стійок 5, 6. Елементи станини з'єднані між собою гвинтами та стягнуті чотирма шпильками 7;
- на стійках 5, 6, з можливістю вертикального переміщення (хід 1430 мм), змонтовані силові гідравлічні циліндри 8, 9;
- приводи вертикального переміщення гідроциліндрів – гвинтові 10, 11 від мотор-редукторів 12, 13;
- привід горизонтального переміщення стола – гвинтовий 14 від мотор-редуктора 15;
- кожний гідроциліндр забезпечує хід штока 350 мм по осі X;
- керування біпресом – ручне, кнопкове. Пульт керування – переносний, індивідуальний.

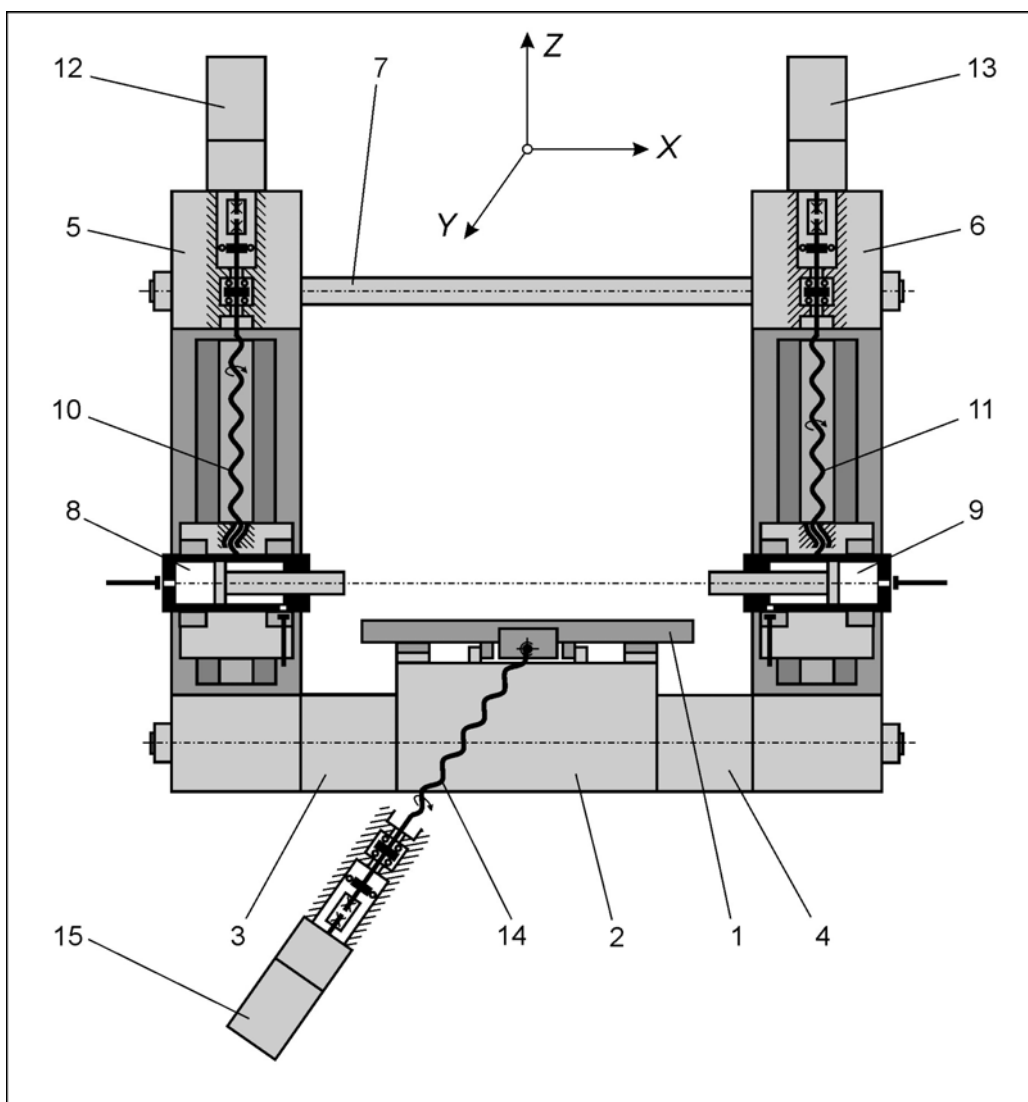


Рисунок 3 – Кінематична схема гідравлічного біпреса «Кит-100»

Джерело: розроблено авторами

Перед початком роботи стіл 1 висувають в зону завантаження та за допомогою цехового крану встановлюють на ньому шахтне кріплення. Кріплення закріплюють до столу верстатними гвинтами М20 за допомогою прихоплювачів. Кількість та місця розташування болтів визначається для кожного шахтного кріплення індивідуально. Далі переміщують стіл 1 в зону демонтажу верхнього ряду осей.

До штока гідроциліндра 8 прикріплюють накладною гайкою натискний інструмент (пуансон-штовхач) відповідного діаметра. Діаметр інструмента повинен бути на 10 мм менше діаметра осі, що демонтують. Для більш точного позиціонування інструмента відносно осі, на інструмент одягають легкий ковпачок, що центрує, який виконаний у вигляді керна. Керуючи переміщенням штока по осям X , Z та столом по осі Y , підводять вістря ковпачка у центр осі. Далі відводять шток, знімають ковпачок і підводять знову шток до торкання з віссю.

Після виконання цих операцій переходять до циліндру 9, який змонтований на стійці 6. На шток гідроциліндра 9 накручують плоский циліндричний інструмент для того, щоб не ушкодити різьбу під накладну гайку. Далі, керуючи переміщенням штока по осям X , Z , встановлюють його у задане місце до торкання з шахтним кріпленням. Оскільки в гідростанції керування передбачені нормально закриті гідравлічні замки,

гідроциліндр, з точки зору гідравліки, є закритим та може протидіяти зусиллю демонтажу.

Далі переходять до гідроциліндра 8, який змонтований на стійці 5, та починають процес демонтажу осі. Після закінчення процесу шток встановлюють в початкове положення та переходять до позиціонування шахтного кріплення для демонтажу наступної осі.

З метою забезпечення безпечних умов праці, індивідуальний переносний пульт керування біпресом виключає можливість одночасної роботи обох гідроциліндрів 8, 9.

Інструментом для демонтажу осі (пальця) із шахтного кріплення є пуансон-штовхач (рис. 4).

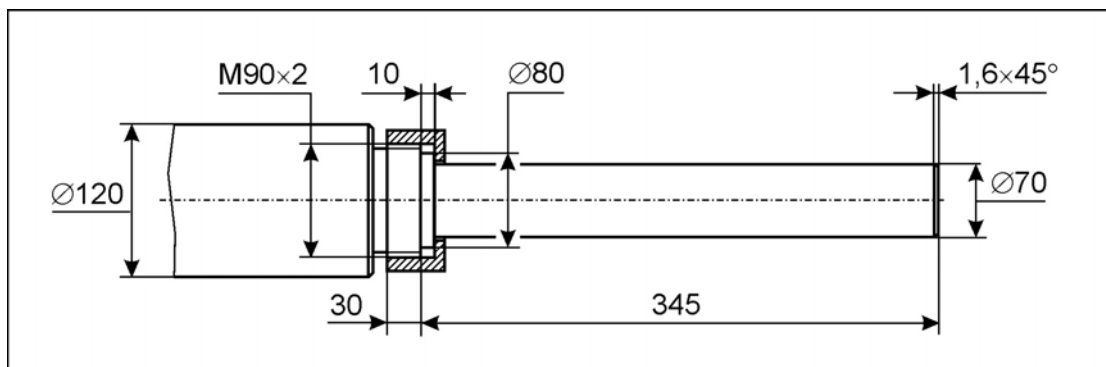


Рисунок 4 – Приклад виконання та кріплення до штоку пуансона-штовхача з робочим діаметром 70 мм для гідравлічного біпреса «Кит-100»

Джерело: розроблено авторами

Він під дією навантаження працює на поздовжній вигин, а тому повинен мати відповідний запас поздовжньої стійкості. Чим вище твердість пуансона-штовхача, тим менше він вигинається, але при великій твердості та ексцентричному навантаженні він схильний до сколювання. Тому для виготовлення пуансона-штовхача рекомендується якісні сталі 45, 45X та інструментальні сталі У7, У8. При цьому твердість інструмента не повинна бути більшою 40...42 HRC_e. Результати моделювання на поздовжню стійкість у SOLIDWORKS Simulation показали запас міцності для рекомендованих сталей в межах від 4,5 до 5,2.

Гідравлічний біпрес «Кит-100» являє собою установку, що складається із наступних елементів (рис. 5):

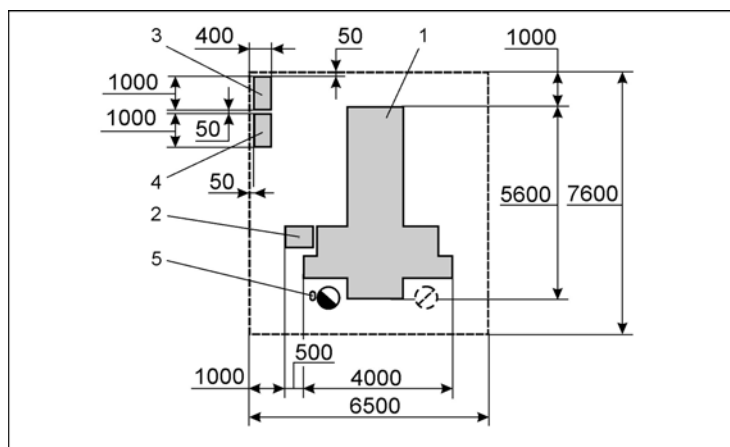


Рисунок 5 – План-схема установки

Джерело: розроблено авторами

- трикоординатного біпреса 1;
- станції гідроприводу 2;
- електрошафи 3;
- інструментальної тумбочки 4;
- двох переносних пультів керування.

Висновки. Виконано дослідження щодо моделювання деформації елементів шахтного кріплення під навантаженням із застосуванням розрахункового модуля SOLIDWORKS Simulation для визначення максимально допустимого зусилля демонтажу осей в шарнірних з'єднаннях. Показано, що навантаження шахтного кріплення зусиллям більшим 1000 кН приводить до втрати запасу міцності конструкції, що неприпустимо. Запропоновано ефективну технологію демонтажу осей в шахтному кріпленні під час ремонтних робіт. Розроблено концепцію оригінального спеціалізованого гідравлічного біпреса «Кіт-100» для демонтажу осей, що дозволяє замінити фізично важку та небезпечну працю оператора на більш легкий, механізований процес.

Список літератури

1. Szurgacz D. Dynamic Analysis for the Hydraulic Leg Powerof a Powered Roof Support. *Energies*. 2021. 14 (18). 5715. <https://doi.org/10.3390/en14185715>
2. Szurgacz D., Borska B., Diederichs R., Zhironkin S. Development of a Hydraulic System for the Automatic Expansion of Powered Roof Support. *Energies*. 2022. 15(3), 680. <https://doi.org/10.3390/en15030680>
3. Wang G. F., Pang Y. H. Relationship between hydraulic support and surrounding rock coupling and its application. *Journal of the China Coal Society*. 2015. Vol. 40, №1. P. 30–34.
4. Liang L., Tian J., Zheng H., Jiao S. A Study on Force Transmission in a Hydraulic Support under Impact Loading on Its Canopy Beam. *J. China Coal Soc.* 2015. Vol. 40. P. 2522–2527.
5. Zeng Q., Xu P., Meng Z., Ma C., Lei X. Posture and Dynamics Analysis of Hydraulic Support with Joint Clearance under Impact Load. *Machines*. 2023. Vol. 11, №1. P. 159. <https://doi.org/10.3390/machines11020159>
6. Михайлов А. Г., Михайлов А. А., Михайлова Е. А. Ионно-плазменные вакуумные покрытия – основа широкого повышения качества изделий машиностроения. *Прогрессивные технологии и системы машиностроения: межд. сб. научн. трудов*. 2004. Вып. 28. С. 108-115.
7. Kennedy D., Xue Y., Mihaylova M. Current and Future Applications of Surface Engineering. *The Engineers Journal (Technical)*. 2005. Vol. 59. P. 287-292.
8. Татьяначенко А. Г., Каюн А. П., Лаппо И. Н. Технологические перспективы повышения эффективности эксплуатации шахтной крепи. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2010. №1. С. 20 – 29.
9. Камишацький О.Ф., Расцветаев В.О. Моделювання технологічних процесів. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Д.: НТУ «ДП». 2019. С. 48.
10. Методичні вказівки до виконання лабораторних і практичних робіт з курсу «Основи моделювання процесів в обробці тиском» для студентів освітньої програми «Прикладна механіка» денної і заочної форми навчання / уклад. : А. О. Окунь, С. О. Губський, В. Л. Чухліб, А. В. Ашкелянець, О. А. Юрченко. Харків : НТУ «ХПІ». 2021. С. 88.

References

1. Szurgacz D. (2021). Dynamic Analysis for the Hydraulic Leg Powerof a Powered Roof Support. *Energies*. 14(18), 5715. <https://doi.org/10.3390/en14185715> [in English].
2. Szurgacz, D., Borska, B., Diederichs, R., Zhironkin S. (2022). Development of a Hydraulic System for the Automatic Expansion of Powered Roof Support. *Energies*, 15(3), 680. <https://doi.org/10.3390/en15030680> [in English].
3. Wang, G.F., Pang, Y.H. (2015). Relationship between hydraulic support and surrounding rock coupling and its application. *Journal of the China Coal Society*, Vol. 40, №1. P. 30–34 [in English].

4. Liang, L., Tian, J., Zheng, H., Jiao, S. (2015). A Study on Force Transmission in a Hydraulic Support under Impact Loading on Its Canopy Beam. *J. China Coal Soc.* Vol. 40. P. 2522–2527 [in English].
5. Zeng, Q., Xu, P., Meng, Z., Ma, C., Lei, X. (2023). Posture and Dynamics Analysis of Hydraulic Support with Joint Clearance under Impact Load. *Machines.* Vol. 11, №1. P. 159. <https://doi.org/10.3390/machines11020159> in English].
6. Mihajlov, A.G., Mihajlov, A.A. & Mihajlova, E.A. (2004). *Ionno-plazmennye vakuumnye pokrytiya – osnova shirokogo povysheniya kachestva izdelij mashinostroeniya [Ion-plasma vacuum coatings are the basis for a wide improvement in the quality of engineering products]*. Doneck: DonNTU [in Ukrainian].
7. Kennedy, D., Xue, Y., Mihaylova, M. (2005). Current and Future Applications of Surface Engineering. *The Engineers Journal (Technical)*. Vol. 59. P. 287-292 [in English].
8. Tatyanchenko, A. G., Kayun, A. P., Lappo, I. N. (2010). *Tehnologicheskie perspektivy povysheniya effektivnosti ekspluatatsii shahtnoj krepki [Technological prospects for increasing the efficiency of mine support operation]*. Visti Doneckogo gornichogo institutu [in Ukrainian].
9. Kamishackij, O.F. & Rascvyetayev, V.O. (2019). *Modelyuvannya tehnologichnih procesiv [Modeling of technological processes]*. Dnipro: Dniprovska politehnika [in Ukrainian].
10. Okun, A.O., Gubskij, S.O., Chuhlib, V.L., Ashkelyanec, A.V. & Yurchenko, O.A. (2021). *Osnovi modelyuvannya procesiv v obrobcji tiskom [Basics of modeling processes in pressure treatment]*. Harkiv: Harkivskij politehniknij institut [in Ukrainian].

Victor Bokov, Prof., PhD tech. sci., **Oleh Sisa**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Mirzak**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ruslan Teliuta**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Viktor Pukalov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Improvement of Technology for Dismantling Metal Structures of Mechanized Mine Supports

During operation, the hinge connections of mine supports practically stop rotating. This is due to the fact that, as a result of the aggressive mine water and strong dustiness, the diametrical clearance of 1-2 mm between the axis and the bushing is tightly filled with oxides and coal dust, especially in the connections of the base. This circumstance leads to the fact that the axes (pins) in the hinges lose their mobility and require significant effort for their dismantling. To repair the mechanized mine support, it is necessary to dismantle the hinge connections, which are formed by axes and holes in levers (traverses), base ears, and overlaps. Currently, the dismantling of hinge connections of mine supports is carried out using manual impact tools.

This operation is extremely labor-intensive, physically heavy, and belongs to hazardous work. The goal of the study is to improve the working conditions of the operator during the dismantling process of axes in hinge connections of mine supports by using a mechanized specialized hydraulic press. To achieve the set goal, the following tasks must be solved: to determine the maximum permissible disassembly force of the axes, taking into account the strength of the load-bearing structure elements; to develop a concept of a mechanized hydraulic press, including the composition of the installation, the general technical description, the principle of operation, the kinematic scheme, and the tool.

Studies have been carried out on the deformation modeling of mine support elements under load using the SOLIDWORKS Simulation calculation module to determine the maximum permissible disassembly force of the axes. It has been shown that the disassembly load of the shaft support axis with a force of more than 1000 kN leads to the loss of the structural strength reserve, which is unacceptable. An effective technology for dismantling the axes of a mechanized mine support has been proposed. A concept of an original specialized hydraulic press "Kit-100" for dismantling axes has been developed, which allows replacing the physically heavy and dangerous work of the operator with a lighter, mechanized process.

mechanized mine support, modeling, axis dismantling, hydraulic press, kinematic scheme, tool

Одержано (Received) 20.03.2023

Прорецензовано (Reviewed) 28.03.2023

Прийнято до друку (Approved) 03.04.2023